

УДК 621.762.27

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ И ТВЕРДОГО СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ НИХ ИЗОСТАТИЧЕСКИМ ПРЕССОВАНИЕМ И СПЕКАНИЕМ

© 2014 г. **Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Е.В. Агеева**

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

*Статья поступила в редакцию 23.01.14 г., доработана 16.06.14 г., подписана в печать 29.06.14 г.*

Представлены результаты исследования свойств твердого сплава, изготовленного изостатическим прессованием и спеканием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием (ЭЭД) вольфрамсодержащих отходов сплавов Т15К6 в дистиллированной воде и керосине осветительном. Для ЭЭД токопроводящих материалов использована оригинальная установка, разработанная и запатентованная авторами. Изостатическое прессование порошка осуществлялось на прессе «EPSI» (Бельгия) при давлении 300 МПа, а спекание – в высокотемпературной печи «Nabertherm» (Германия) в вакууме при температуре 1500 °С в течение 2 ч. Рентгеноспектральным микроанализом установлено содержание основных элементов (W, Ti и Co) как в порошке, так и в полученном из него твердом сплаве. Исследована их микротвердость и показано, что порошок, полученный ЭЭД в керосине, и сплав из него имеют повышенную величину *HV* по сравнению с образцами, изготовленными с использованием в качестве рабочей жидкости воды.

**Ключевые слова:** отходы твердого сплава, вольфрам, электроэрозионное диспергирование, получение порошков, твердый сплав, рентгеноспектральный микроанализ, микротвердость.

Results of the investigation into the properties of the hard alloy fabricated by isostatic pressing and sintering of powders prepared by EDM dispersion of tungsten-containing waste of the T15K6 alloy in distilled water and burning kerosene. An original installation developed and patented by the authors was used for EDM dispersion of conductive materials. Isostatic pressing of the powder was performed using an EPSI press (Belgium) at a pressure of 300 MPa and sintering was performed in a Nabertherm high-temperature furnace (Germany) in vacuum at 1500 °C for 2 h. The content of main elements (W, Ti, Co) both in powder and in the hard alloy fabricated from it was established using the electron probe microanalysis. Microhardness of powder and alloy is investigated and it is shown that powder prepared by EDM dispersion in kerosene and alloy made of it have increased *HV* compared with the samples fabricated using water as the working liquid.

**Keywords:** hard alloy waste, tungsten, EDM dispersion, powder preparation, hard alloy, electron probe microanalysis, microhardness.

### ВВЕДЕНИЕ

Использование твердых сплавов (ТС) для изготовления режущего инструмента позволило в несколько раз по сравнению с быстрорежущей сталью увеличить скорости резания при обработке металлов и тем самым существенно повысить производительность труда на металлообрабатывающих предприятиях. Кроме того, появилась возможность обрабатывать на станках изделия из твердых и абразивных неметаллических материалов, например

стекла, фарфора и др. Присутствие в ТС дорогостоящего вольфрама дает несравненно больший эффект, чем, например, в составе быстрорежущей стали, широко применяемой для обработки металлов. Так, режущим инструментом из ТС, содержащего W, можно обработать в 5 раз больше металла, чем из стали с тем же количеством W [1–7].

В настоящее время ведутся активные работы по поиску эффективных технологий переработки и

**Агеев Е.В.** – докт. техн. наук, доцент, руководитель науч.-образ. центра «Порошковая металлургия и функциональные покрытия» ЮЗГУ (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94). E-mail: ageev\_ev@mail.ru.

**Латыпов Р.А.** – докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой технологий и оборудования металлургических производств МГМУ (111127, г. Москва, ул. Лефортовский вал, 26). Тел.: (495) 267-58-10. E-mail: latipov46@mail.ru.

**Агеева Е.В.** – канд. техн. наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии ЮЗГУ. E-mail: adeeva-ev@yandex.ru.



Рис. 1. Схема процесса электроэрозионного диспергирования

повторного использования твердых сплавов. Традиционные промышленные способы переработки отходов ТС основываются на химико-металлургических процессах и отличаются крупнотоннажностью, энергоемкостью, большими производственными площадями, экологическими проблемами (сточные воды, вредные выбросы).

Одним из наиболее перспективных в этом отношении является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [8–14], схема которого представлена на рис. 1.

Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами. Под действием разрядов происходит ионизация рабочей жидкости в промежутке, через который начинает протекать электрический ток, т.е. образуется канал разряда — сравнительно узкая цилиндрическая область, заполненная нагретым веществом (плазмой), содержащим ионы и электроны. Длина канала и его диаметр очень малы, и поэтому плотность энергии в

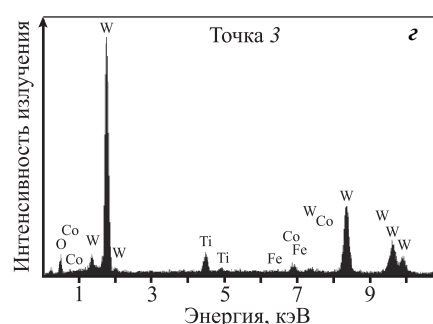
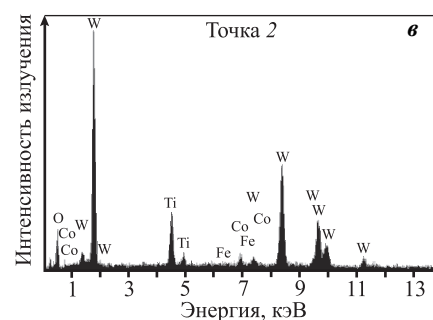
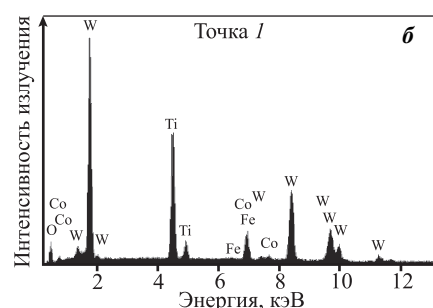
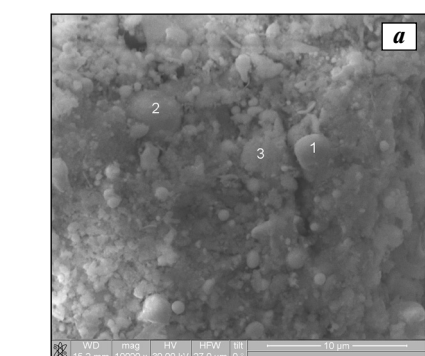
нем достигает больших величин, а температура в этом локальном объеме составляет десятки тысяч градусов.

Однако в современной научно-технической литературе отсутствуют полноценные сведения по влиянию исходного состава, структуры и свойств твердосплавных электроэрозионных порошков на параметры твердосплавных изделий, полученных из них.

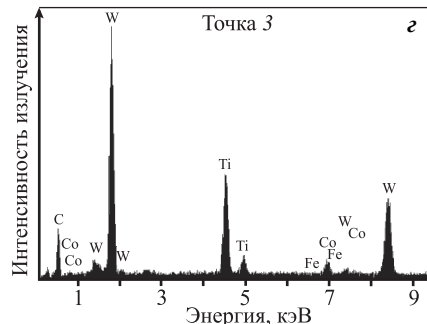
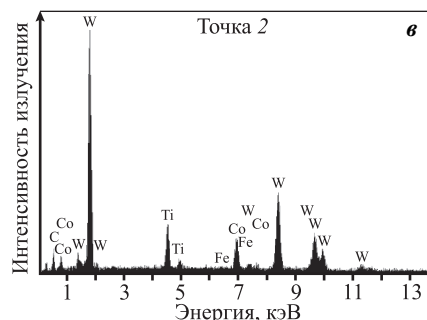
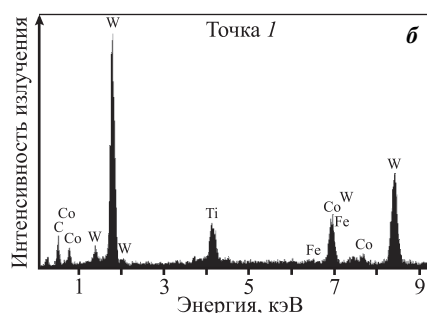
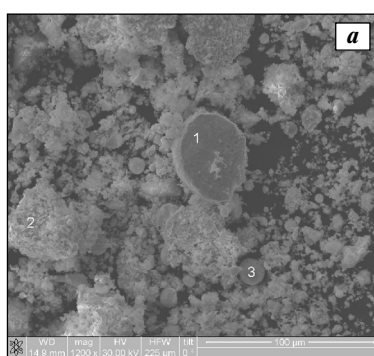
Целью настоящей работы было исследование методом рентгеноспектрального микроанализа состава электроэрозионных порошков и твердого сплава, полученного из них изостатическим прессованием и спеканием, а также оценка и сравнение их микротвердости.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

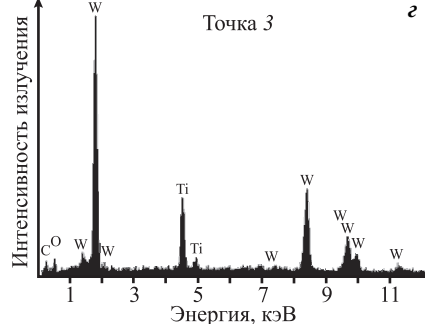
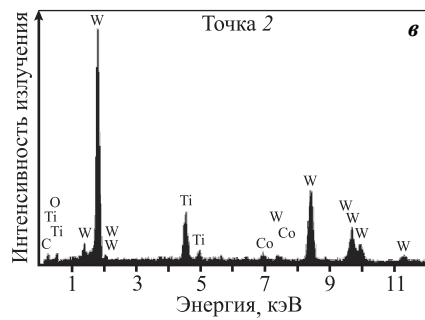
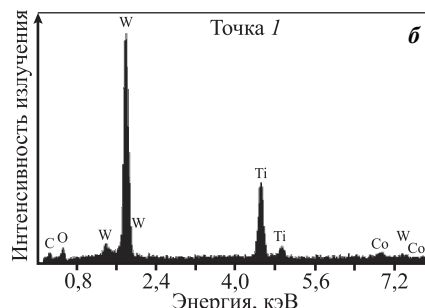
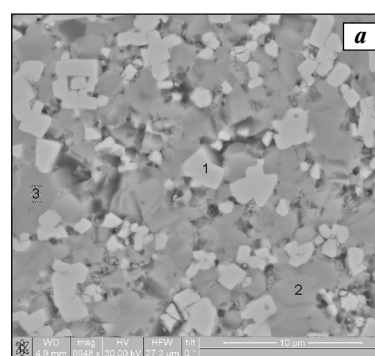
Для переработки отходов ТС использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов [15]. В качестве диспергируемого материала для выполнения намеченных исследований были выбраны



**Рис. 2.** Морфология (а) и рентгенограммы (б–г) порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в дистиллированной воде



**Рис. 3.** Морфология (а) и рентгенограммы (б–г) порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в керосине осветительном

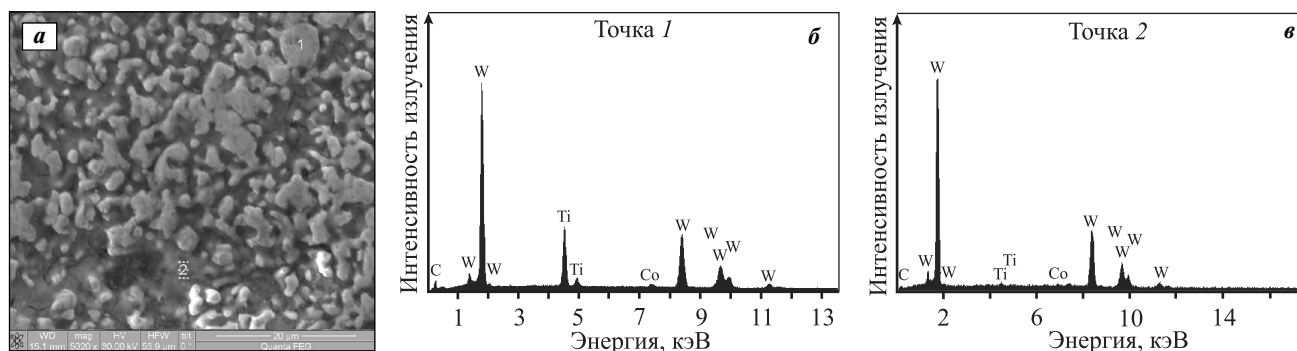


**Рис. 4.** Микроструктура (а) и рентгенограммы (б–г) твердого сплава, изготовленного из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в дистиллированной воде

отходы твердых сплавов марки Т15К6, рабочими жидкостями служили дистиллированная вода и керосин осветительный. Процесс ЭЭД ТС проводили при следующих электрических параметрах: емкости разрядных конденсаторов 35 мкФ, напряжении на

электродах 200–220 В, частоте следования импульсов 30 Гц [16].

При решении поставленных задач использовали современное исследовательское оборудование, в том числе:



**Рис. 5.** Микроструктура (а) и рентгенограммы (б, в) твердого сплава, изготовленного из порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в керосине осветительном

— пресс «EPSI» (Бельгия) для изостатического прессования электроэрозионного порошка (давление 300 МПа);

— высокотемпературную печь компании «Nabertherm» (Германия) для спекания порошков в вакууме ( $t = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 2\text{ ч}$ );

— отрезной станок «Accutom-5» (Дания) для механической обработки спеченного ТС;

— станок «LaboPol-5» (Дания) для шлифования и полирования образцов твердых сплавов;

— электронно-ионный сканирующий (растровый) микроскоп с полевой эмиссией электронов «QUANTA 600 FEG» (Нидерланды) и энергодисперсионный анализатор рентгеновского излучения фирмы «EDAX» (Нидерланды) для выполнения рентгеноспектрального микроанализа порошков и спеченного из них ТС;

— прибор «Instron 402 MVD» (Англия) для определения микротвердости образцов порошков и ТС.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщенные данные по результатам исследования морфологии и микроструктуры методом рентгеноспектрального микроанализа порошка, полученного ЭЭД твердых сплавов марки T15K6 в дистиллированной воде и керосине осветительном, представлены на рис. 2 и 3, а также в табл. 1 и 2. Из рисунков видно, что частицы обоих порошков имеют правильную сферическую или эллиптическую форму, местами они собраны в агломераты. Установлено, что в порошках, полученных в кислород- или углеродсодержащих жидкостях (вода или керосин), на поверхности частиц присутствует большая часть кислорода или углерода соответственно, а все остальные элементы распределены по объему частиц относительно равномерно. Показано, что основны-

Таблица 1

**Результаты рентгеноспектрального микроанализа ТС-порошков, полученных ЭЭД в дистиллированной воде, и сплавов из них**

Точки на рис. 2 и 4	Содержание элемента, мас.%					
	W	Co	Ti	Fe	O	C
Твердосплавный электроэрозионный порошок						
1	78,6	5,3	14,4	0,3	1,4	—
2	81,1	4,0	12,6	0,2	2,1	—
3	78,4	6,7	13,7	0,5	0,7	—
Твердый сплав						
1	78,8	5,0	12,1	0,3	2,1	1,7
2	76,6	5,7	14,2	0,2	1,7	1,6
3	77,8	5,3	13,4	0,4	1,9	1,2

Таблица 2

**Результаты рентгеноспектрального микроанализа ТС-порошков, полученных ЭЭД в керосине осветительном, и сплавов из них**

Точки на рис. 3 и 5	Содержание элемента, мас.%				
	W	Co	Ti	Fe	C
Твердосплавный электроэрозионный порошок					
1	78,5	5,7	12,4	0,5	2,9
2	74,2	5,3	14,6	0,5	5,4
3	77,7	5,1	13,7	0,4	3,1
Твердый сплав					
1	86,2	3,0	8,1	—	2,7
2	91,0	2,7	4,2	—	2,1

ми компонентами этих порошков, как и твердых сплавов, полученных из них, являются W, Ti и Co (рис. 4 и 5, табл. 1 и 2).

Испытания микротвердости ТС-порошков и спеченного твердого сплава проводили с помощью автоматической системы «Instron 402 MVD» по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 30 Н по 10 отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТ 9450-76 («Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников»). Время нагружения индентора составляло 15 с.

Результаты исследования микротвердости электроэрозионных порошков и твердых сплавов из них показали, что ее значения отличаются незначительно. Однако порошки, полученные методом ЭЭД отходов ТС марки Т15К6 в дистиллированной воде по сравнению с керосином, имеют меньшую величину  $HV$  (292,91 МПа против 542,45 МПа). Та же картина наблюдается и у твердых сплавов, изготовленных из этих порошков (276,27 МПа и 521,36 МПа соответственно). Согласно результатам наших исследований [16] данный факт обусловлен наличием в них большего количества пор.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам сравнительных экспериментальных исследований, в том числе описанных в [16], установлено влияние исходного состава, структуры и свойств электроэрозионных порошков из отходов ТС марки Т15К6 на эти же параметры твердосплавных изделий, полученных из них холодным изостатическим прессованием при давлении 300 МПа и спеканием в вакууме в течение 2 ч.

Рентгеноспектральный микроанализ показал, что макроэлементами как в порошках, так и в сплавах, изготовленных из них, являются W, Ti и Co.

Механические свойства ТС (см. [16]) близки к таковым исходного порошка. Большая микротвер-

дость зафиксирована у ТС-порошков, полученных ЭЭД с использованием в качестве рабочей жидкости керосина, и сплавов из них.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации № МД-1123.2014.8.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Liu F.T., Song S.X., Yang J.R. // Trans. Nonfer. Met. Soc. China. 2004. Vol. 14 (Suppl.). P. 482—486.
2. Azarova E.V., Levashov E.A., Ralchenko V.G. // Metallurgist. 2010. Vol. 54, № 7-8. P. 523—529.
3. Kirsanov S.V., Babaev A.S. // Rus. Eng. Res. 2013. Vol. 33, № 3. P. 170—171.
4. Oskolkova T.N., Budovskikh E.A. // Metal. Sci. Heat Treat. 2013. Vol. 55, № 1-2. P. 96—99.
5. Ivanov V.V., Pryazhnikova A.A. // Rus. Eng. Res. 2013. Vol. 33, № 1. P. 46—47.
6. Uglov V.V., Kuleshov A.K., Remnev G.E. // Rus. J. Non-Ferrous Met. 2013. Vol. 54. № 4. P. 349—354.
7. Valentov A.V., Konovodov V.V., Agafonova E.V. // Appl. Mech. Mater. 2013. Vol. 379. P. 28—31.
8. Ageev E.B. // Заготовит. пр-ва в машиностр. 2011. № 2. С. 42—44.
9. Ageev E.B. // Упроч. технологии и покрытия. 2011. № 2. С. 13—16.
10. Ageev E.B. // Технол. металлов. 2011. № 7. С. 30—32.
11. Ageeva E.V. // J. Nano. Electron. Phys. 2013. Vol. 5, № 4. P. 04038-1.
12. Ageev E.V. // Ibid. 2014. Vol. 3. P. 03001-1.
13. Ageeva E.V. // Ibid. P. 03011-1.
14. Ageev E.V. // Ibid. P. 03049-1.
15. Пат. 2449859 (РФ). Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Е.В. Агеев. 2012.
16. Ageev E.B. // Изв. вузов. Цв. металлургия. 2014. № 5. С. 50—53.